

Measurement of myocardial tissue deformation by correlation interpolation of pulsed ultrasonic echo signals

Citation for published version (APA):

de Jong, P. G. M. (1991). *Measurement of myocardial tissue deformation by correlation interpolation of pulsed ultrasonic echo signals*. [Doctoral Thesis, Maastricht University]. Universiteit Maastricht. <https://doi.org/10.26481/dis.19910530pj>

Document status and date:

Published: 01/01/1991

DOI:

[10.26481/dis.19910530pj](https://doi.org/10.26481/dis.19910530pj)

Document Version:

Publisher's PDF, also known as Version of record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.umlib.nl/taverne-license

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

repository@maastrichtuniversity.nl

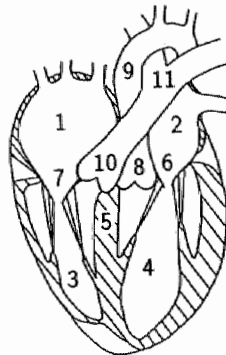
providing details and we will investigate your claim.

Samenvatting

Het meten van de vervorming
van hartspierweefsel door
correlatie interpolatie
van ultrasone echosignalen

Inleiding

Het hart is een holle, dikwandige spier, die als pomp fungeert in de bloedsomloop van het lichaam. Het hart is opgebouwd uit 4 holle delen, de linker en de rechter *boezem* en de linker en de rechter *kamer* (zie figuur 1). Een hartcyclus kan globaal worden verdeeld in twee fasen. In de eerste fase (de *diastole*) bevindt het hart zich in een toestand van rust. Gedurende deze tijd wordt het hart vanuit de bloedsomloop gevuld met bloed. De tweede fase is een actieve fase (de *systole*) waarin door samentrekking van de spierlagen van het hart de druk in het hart wordt vergroot en het bloed wordt uitgedrukt. De periode van uitpompen wordt de *ejectiefase* genoemd. Het bloed uit de rechter kamer wordt daarbij naar de longen geleid via de *longslagader*, terwijl het bloed uit de linker kamer via de *aorta* naar de rest van het lichaam wordt getransporteerd. Een viertal *hartkleppen* zorgt ervoor dat het bloedtransport in de juiste richting verloopt.



Uit Arts [1]

Figuur 1: Schematisch lange-as aangezicht van een doorsnede van het hart. 1=rechter boezem, 2=linker boezem, 3=rechter kamer, 4=linker kamer, 5=septum, 6=mitraal klep, 7=tricuspidale klep, 8=aorta klep, 9=aorta, 10=pulmonale klep, 11=longslagader.

Als gevolg van het samentrekken verandert de vorm van het hart gedurende een hartcyclus. Ten gevolge van het uitpompen van bloed gedurende de ejectiefase neemt het kamervolume af, en dus ook de diameter van de kamers. Daarnaast treedt er tijdens het samentrekken van het hart een *verdikking* van de hartwand op. Deze verdikking is afhankelijk van de mate waarin de afzonderlijke spiervezels samentrekken. Tenslotte voert het hart tijdens het uitpompen van het bloed een wringende beweging uit, die *torsie* wordt genoemd. De grootte van deze torsie hangt samen met de mate van verkorting en de oriëntatie van de spiervezels in de hartwand.

Uit onderzoek is gebleken dat de vervorming van het hartspierweefsel verandert wanneer een gedeelte van het weefsel slecht functioneert. Een voorbeeld hiervan is de aanwezigheid van een plaatselijk infarctgebied in het hartspierweefsel. Als gevolg van een (gedeeltelijke) verstopping van één of meerdere kransslagaders is de bloeddoorstroming in zo'n gebied sterk afgenomen of zelfs helemaal verdwenen. Hierdoor heerst er lokaal in het weefsel een tekort aan zuurstof, en ontstaat er een opeenhoping van afvalstoffen. Beide factoren leiden tot een verslechterde mechanische functie van de hartspier, en kunnen zelfs het afsterven van het betrokken stukje spierweefsel veroorzaken. De slechte mechanische functie veroorzaakt een verstoring van het vervormingspatroon van het hartspierweefsel, zoals bijvoorbeeld een afname van de lokale wandverdikking. Door de vervorming te meten kan dus een schatting worden gemaakt van de actuele conditie van het hartspierweefsel.

Doel van de studie

Om de vervorming van de hartspier te meten zijn reeds vele technieken ontwikkeld, die globaal in twee groepen kunnen worden verdeeld. De eerste groep bevat methoden die een open-hart operatie vereisen om direkt aan het hartspierweefsel te kunnen meten. Hoewel met deze technieken in het algemeen de vervorming van het hart vrij nauwkeurig kan worden bepaald, zijn ze ongeschikt voor klinische toepassingen wegens de noodzaak tot operatie. De tweede groep bevat technieken die door de intacte huid heen een afbeelding van het hart kunnen maken (zgn. *transcutaan* = door de huid heen). Deze technieken maken in het algemeen gebruik van *ultrageluid*, *röntgenstraling* of *magnetische velden*. Op basis van een reeks afbeeldingen van het hart, gemaakt op opeenvolgende tijdstippen gedurende een hartcyclus, kan een schatting worden gemaakt van de vervorming van de hartspier gedurende zo'n cyclus. Helaas is in het algemeen de kwaliteit van de verkregen beelden slecht, zodat de vervorming van het weefsel niet nauwkeurig kan worden bepaald.

Om toch de vervorming van de hartspier nauwkeurig én transcutaan te kunnen meten is in de huidige studie een nieuwe techniek ontwikkeld waarmee de lokale weefselsnelheid in de hartspier gemeten kan worden. Op basis van snelheidsverschillen binnen het spierweefsel kan vervolgens de vervorming van het weefsel berekend worden. De methode maakt gebruik van ultrageluid, dat door de huid heen gestraald wordt. In de gebruikte dosis is ultrageluid onschadelijk voor levend weefsel, en daarmee voor de patiënt.

De ontwikkelde techniek

Met behulp van een *transducer* (zender en ontvanger voor ultrageluid), die op de huid wordt geplaatst, worden korte ultrageluidspulsen met een centrale frequentie van 3.5 MHz uitgezonden naar het hart. Deze pulsen worden met tussenpozen van 1.1 ms opgewekt, en worden langs een rechte lijn (de *ultrageluidsbundel*) uitgezonden. Elke puls zal reflecties (echosignalen) veroorzaken op structuren in het hartspierweefsel, zoals spiervezels. Deze echosignalen worden weer ontvangen door de transducer. Als het weefsel tussen twee opeenvolgend uitgezonden pulsen is verschoven langs de ultrageluidsbundel, zullen de bijbehorende echosignalen ook ten opzichte van elkaar verschoven zijn. Uit deze verschuiving van de echosignalen kunnen de verplaatsing en de lokale snelheid van het weefsel worden berekend.

Om de verschuiving van de echosignalen nauwkeurig te bepalen is er een nieuwe methode ontwikkeld, de *correlatie interpolatie techniek*. In deze methode wordt de *kruiscorrelatiefunctie* tussen twee echosignalen berekend. Zo'n correlatiefunctie geeft de mate van overeenkomst aan tussen twee signalen. Door de kruiscorrelatie te berekenen voor een aantal onderlinge verschuivingen van de signalen, kan de verschuiving bepaald worden die de beste overeenkomst oplevert. Deze verschuiving, die dus overeenkomt met de positie van de top van de kruiscorrelatiefunctie, is in het algemeen een goede benadering van de werkelijke onderlinge verplaatsing van de echosignalen. In de meeste correlatietechnieken worden eerst vele waarden van de kruiscorrelatiefunctie berekend, om daarna de positie van de top te kunnen bepalen. De correlatie interpolatie techniek maakt echter gebruik van slechts vijf waarden van de functie. De positie van de top wordt door middel van interpolatie van deze vijf waarden zeer nauwkeurig bepaald. Door het beperkte aantal functiewaarden dat wordt gebruikt kan de berekening veel sneller worden uitgevoerd dan met de conventionele correlatietechnieken. Uit de aldus verkregen schatting van de verschuiving van de signalen kan direct de verplaatsing van het hartspierweefsel langs de ultrageluidsbundel berekend worden, en daarmee ook de lokale weefselsnelheid. Uit snelheidsverschillen binnen het hartspierweefsel kan tenslotte de vervorming van het weefsel worden berekend.

Opzet van het onderzoek

De correlatie interpolatie techniek werd in 4 verschillende situaties getest. Ten eerste werd de techniek toegepast op kunstmatige echosignalen, gegenereerd door de computer. De eigenschappen van deze testsignalen waren zoveel mogelijk in overeenstemming gekozen met de eigenschappen van echosignalen, zoals die te verwachten zijn in een echte meting aan bewegend hartspierweefsel. Door de verschuiving van de testsignalen te berekenen met de correlatie interpolatie techniek werden enkele basiseigenschappen van de methode, zoals de nauwkeurigheid, lineariteit en ruisgevoeligheid bepaald.

Ten tweede werd de techniek toegepast op reële echosignalen van een testobject. Voor dit doel werd een schijf gemaakt van een doorzichtig gel, homogeen gevuld met kleine deeltjes (grootte ongeveer $50\text{ }\mu\text{m}$) waartegen de ultrageluidsgolven reflecteren. De schijf werd gemonteerd aan een as, die met diverse snelheden kon draaien. Vervolgens werd het ultrageluid de schijf ingestraald, en werden de echosignalen langs een bepaalde observatielijns door de schijf ontvangen. Hiervoor werd een Hewlett-Packard HP77020 ultrageluids echosysteem gebruikt. Uit de ontvangen echosignalen werd met de correlatie interpolatie techniek zowel de snelheid van de schijf als zijn rotatiesnelheid berekend.

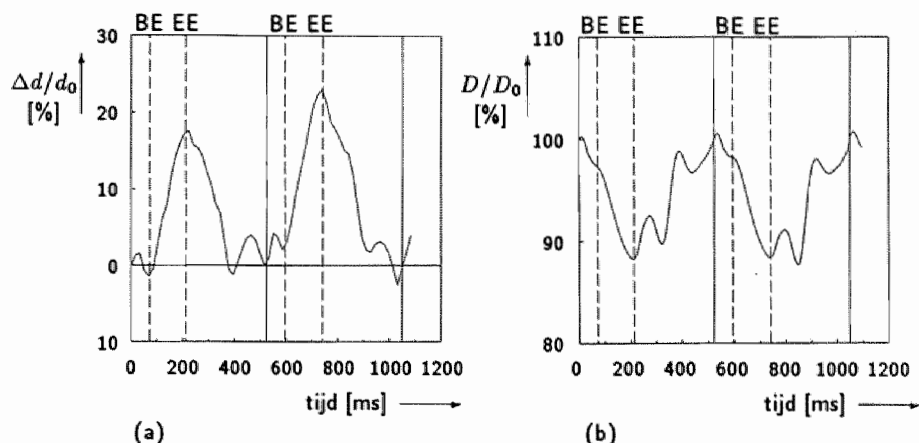
Ten derde werden echosignalen ontvangen van het kloppend hart van de hond en geanalyseerd met de techniek. Bij 7 honden werden met het echosysteem afbeeldingen gemaakt van de hartspier. De hoogfrequente echosignalen langs één of twee observatielijnen in het echobeeld werden opgeslagen en bewerkt. In een controle toestand werden de verdikking van de voor- en achterwand alsmede de verandering in de diameter van de linker kamer bepaald. Daarnaast werd getracht de rotatie van het hart te bepalen. Nadat deze metingen in de controle toestand waren verricht, werd aan het proefdier *imipramine* toegediend. Deze stof veroorzaakt een tijdelijke verslechtering van de conditie van de hartspier. In deze toestand werden weer de wandverdikking en de diameterverandering gemeten om te onderzoeken of een afname van de spierfunctie met de nieuwe techniek ook daadwerkelijk meetbaar was als een verandering in vervorming.

Ten slotte werd naast het dierexperimenteel onderzoek één meting verricht bij een proefpersoon. In deze studie werd nagegaan of de meettechniek ook toegepast kan worden bij de mens.

Resultaten

Uit de evaluatie met testsignalen en de metingen in de experimentele opstelling bleek dat de nauwkeurigheid van de methode ruim voldoende was om de vervorming van het hart te kunnen meten. Zo kon de snelheid in een weefselgebiedje van 2.2 mm lengte met een nauwkeurigheid van ongeveer $6\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ worden bepaald. De snelheidsschatting was lineair en werd nauwelijks beïnvloed door ruis in het signaal. Tevens bleek in de testopstelling dat de rotatiesnelheid van de schijf met succes bepaald kon worden uit het snelheidsverschil tussen twee gebieden in de schijf.

De experimenten bij de hond en de proefpersoon gaven resultaten voor de verdikking van het hartspierweefsel en voor de afname van de diameter van de linker kamer tijdens de ejectiefase die in overeenstemming zijn met de resultaten van diverse studies in de literatuur. Zo zien we in figuur 2a een voorbeeld van de verdikking van het hartspierweefsel in de voorwand van de linker kamer van de hond. De opname beslaat juist twee volledige hartcycli. Duidelijk is te zien dat er een verdikking van de wand optreedt gedurende de ejectiefase, die is aangegeven met de verticale stippellijnen. In figuur 2b is van hetzelfde hart de relatieve diameter weergegeven als



Figuur 2: Verdikking $\Delta d/d_0$ van de voorwand van de linker kamer (a) en de relatieve diameter D/D_0 van de linker kamer (b) als functie van de tijd. De doorgetrokken verticale lijnen geven het begin aan van elke nieuwe hartcyclus. De verticale stippellijnen geven het begin (BE) en het einde (EE) aan van de ejectiefase.

functie van de tijd. Zoals verwacht neemt de diameter af gedurende de ejectiefase. In tegenstelling tot wandverdikking en diameterverandering bleek de rotatie van het hart niet goed meetbaar.

Toediening van imipramine aan de hond veroorzaakte een tijdelijke verslechtering van de mechanische functie van het hartspierweefsel. Als gevolg van deze verslechtering werd tijdens de ejectiefase een kleinere verdikking van het spierweefsel gemeten dan normaal. Daarnaast was ook de diameterafname van de linker hartkamer gedurende de ejectiefase verminderd. Uit de experimenten bleek dus dat met de nieuwe techniek een afname van mechanische functie inderdaad meetbaar was als een verandering in de vervorming van het hartspierweefsel.

Tot slot

Samenvattend kan geconcludeerd worden dat met de correlatie interpolatie techniek een nieuwe methode is ontwikkeld om snel en nauwkeurig de lokale weefselsnelheid in de hartspier te kunnen meten. Uit de snelheidsinformatie kunnen vervolgens parameters met betrekking tot de vervorming van het hartspierweefsel berekend worden. Daarnaast bleek de techniek voldoende gevoelig te zijn om een afname van spierfunctie te kunnen detecteren als een verandering in weefselvervorming. Na verdere ontwikkeling van de methode is het dan ook te verwachten dat de correlatie interpolatie techniek in de toekomst gebruikt zal kunnen worden voor de transcutane bepaling van de lokale hartspiervervorming bij de patiënt.